

	DIN IEC/TR 60919-1 (VDE 0558-10)	DIN
	Dies ist zugleich eine VDE-Leitlinie im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 29.200 Betriebsverhalten von Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs- (HGÜ)Systemen mit netzgeführten Stromrichtern – Teil 1: Bedingungen im eingeschwungenen Zustand (IEC/TR 60919-1:2010 + A1:2013 + A2:2017) Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters – Part 1: Steady-state conditions (IEC/TR 60919-1:2010 + A1:2013 + A2:2017) Fonctionnement des systèmes à courant continu haute tension (CCHT) à convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1: Spécification des conditions de fonctionnement en régime établi (IEC/TR 60919-1:2010 + A1:2013 + A2:2017) Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer VDE-Leitlinie erstellt und ist die Übernahme eines Fachberichts der IEC (IEC/TR). Gesamtumfang 98 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieses Dokuments ist 2018-12-01.

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	9
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten	9
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....	11
1 Anwendungsbereich	12
2 Normative Verweisungen	13
3 Arten von HGÜ-Systemen	14
3.1 Allgemeines	14
3.2 HGÜ-Kurzkupplung	14
3.3 HGÜ-Monopol-System mit Erdrückleitung	16
3.4 HGÜ-Monopol-System mit metallischer Rückleitung	18
3.5 HGÜ-Bipol-Erdrückleitungssystem	19
3.6 Bipolares HGÜ-System mit metallischer Rückleitung	23
3.7 Zwei 12-Puls-Gruppen je Pol	25
3.8 Anordnungen von Stromrichtertransformatoren	25
3.9 Betrachtungen zu Gleichstrom-Schaltanlagen	28
3.10 Reihenkondensatorkompensierte HGÜ-Systeme	30
3.11 Bipolares Hybridsystem aus LCC und VSC	34
4 Umweltangaben.....	35
5 Bemessungswerte für Leistung, Strom und Spannung	38
5.1 Bemessungsleistung	38
5.1.1 Allgemeines	38
5.1.2 Bemessungsleistung an einem HGÜ-System mit Übertragungsleitung.....	39
5.1.3 Bemessungsleistung an HGÜ-Kurzkopplungssystemen	39
5.1.4 Richtung der Leistung	39
5.2 Bemessungsstrom.....	39
5.3 Bemessungsspannung	39
6 Überlast und Leistungsvermögen der Betriebsmittel	40
6.1 Überlast	40
6.2 Leistungsvermögen der Betriebsmittel	41
6.2.1 Allgemeines	41
6.2.2 Leistungsvermögen der Stromrichterventile.....	41
6.2.3 Leistungsvermögen von ölgekühlten Transformatoren und Drosselspulen	41
6.2.4 Wechselstrom-Oberschwingungsfilter und Leistungsvermögen von Betriebsmitteln zur Blindleistungskompensation	41
6.2.5 Schaltgeräte und Leistungsvermögen der Sammelschienen.....	42

7	Minimale Leistungsübertragung und Bereitschaftszustand ohne Last	42
7.1	Allgemeines.....	42
7.2	Mindeststrom.....	42
7.3	Betrieb bei verringerter Gleichspannung	42
7.4	Bereitschaftszustand ohne Last.....	43
7.4.1	Allgemeines.....	43
7.4.2	Stromrichtertransformator – Bereitschaftszustand ohne Last.....	43
7.4.3	Stromrichterventile – Bereitschaftszustand ohne Last.....	43
7.4.4	Wechselstromfilter und Blindleistungskompensation – Bereitschaftszustand ohne Last	43
7.4.5	Gleichstromdrosseln und -filter – Bereitschaftszustand ohne Last.....	43
7.4.6	Hilfssystem – Bereitschaftszustand ohne Last	43
7.4.7	Regelungs- und Schutzeinrichtungen – Bereitschaftszustand ohne Last	44
8	Wechselstromsystem	44
8.1	Allgemeines.....	44
8.2	Wechselspannung.....	44
8.2.1	Bemessungs-Wechselspannung	44
8.2.2	Spannungsbereich im eingeschwungenen Zustand	44
8.2.3	Gegenspannung.....	45
8.3	Frequenz	45
8.3.1	Bemessungsfrequenz	45
8.3.2	Frequenzbereich im eingeschwungenen Zustand	45
8.3.3	Kurzzeitige Frequenzschwankungen	45
8.3.4	Frequenzschwankungen in Notfällen.....	45
8.4	Netzimpedanz bei Grundfrequenz	46
8.5	Netzimpedanz bei Oberschwingungsfrequenzen	46
8.6	Mit- oder Nullsystemen-Wellenwiderstand.....	46
8.7	Weitere Quellen für Oberschwingungen	46
8.8	Untersynchrone Torsionswechselwirkung (SSTI)	46
9	Blindleistung	46
9.1	Allgemeines.....	46
9.2	Herkömmliche HGÜ-Systeme	47
9.3	Reihenkapazitätskompensierte HGÜ-Systeme	48
9.4	Blindleistungsaufnahme des Stromrichters.....	48
9.5	Blindleistungskompensation mit dem Wechselstromnetz.....	48
9.6	Blindleistungsversorgung	49
9.7	Maximale Größe von schaltbaren VAR-Bänken	49
10	HGÜ-Leitung, Erdelektrodenleitung und Erdelektrode.....	49
10.1	Allgemeines.....	49
10.2	Freileitung(en)	50

10.2.1	Allgemeines	50
10.2.2	Elektrische Parameter	50
10.3	Kabelleitung(en)	50
10.3.1	Allgemeines	50
10.3.2	Elektrische Parameter	51
10.4	Erdelektrodenleitung.....	51
10.5	Erdelektrode	51
11	Zuverlässigkeit.....	51
11.1	Allgemeines	51
11.2	Nichtverfügbarkeit.....	52
11.2.1	Allgemeines	52
11.2.2	Geplante Nichtverfügbarkeit.....	52
11.2.3	Störungsbedingte Nichtverfügbarkeit	52
11.3	Leistung	52
11.3.1	Allgemeines	52
11.3.2	Maximale Dauerleistung P_m	52
11.3.3	Nichtverfügbarkeitsleistung P_o	52
11.3.4	Nichtverfügbarkeits-Reduzierfaktor (ODF).....	52
11.4	Benennungen für die Nichtverfügbarkeitsdauer	53
11.4.1	Tatsächliche Nichtverfügbarkeitsdauer (AOD).....	53
11.4.2	Äquivalente Nichtverfügbarkeitsdauer (EOD)	53
11.4.3	Periodenstunden (PH).....	53
11.4.4	Tatsächliche Nichtverfügbarkeitsstunden (AOH)	53
11.4.5	Äquivalente Nichtverfügbarkeitsstunden (EOH).....	53
11.5	Energie-Nichtverfügbarkeit (EU)	54
11.5.1	Allgemeines	54
11.5.2	Störungsbedingte Energie-Nichtverfügbarkeit (FEU).....	54
11.5.3	Geplante Energie-Nichtverfügbarkeit (SEU)	54
11.6	Energie-Verfügbarkeit (EA)	54
11.7	Maximal zulässige Anzahl störungsbedingter Nichtverfügbarkeiten	55
11.8	Statistische Wahrscheinlichkeit von Nichtverfügbarkeiten	55
11.8.1	Ausfälle von Bauelementen.....	55
11.8.2	Äußere Ausfälle	55
12	HGÜ-Regelung	55
12.1	Ziele der Regelung	55
12.2	Regelungsstruktur	56
12.2.1	Allgemeines	56
12.2.2	Stromrichtergruppen-Zündregelung	56
12.2.3	Polregelung	58

12.2.4	Regelung der HGÜ-Station	60
12.2.5	Hauptregelung.....	60
12.3	Einstellungen der Regelungsbefehle	60
12.4	Stromgrenzwerte	61
12.5	Redundanz des Regelungskreises	61
12.6	Messungen.....	61
13	Telekommunikation	62
13.1	Arten der Telekommunikationsverbindungen	62
13.2	Telefon	62
13.3	Trägerfrequenzübertragung auf Hochspannungsleitungen (PLC).....	62
13.4	Richtfunk	63
13.5	Funkübertragung	63
13.6	Lichtwellenleiter-Übertragung	63
13.7	Einteilung der zu übertragenden Daten	64
13.8	Telekommunikation mit hoher Übertragungsrate.....	64
13.9	Zuverlässigkeit	64
14	Hilfsstromversorgungen	65
14.1	Allgemeines.....	65
14.2	Zuverlässigkeit und Einteilung der Last	65
14.3	Wechselstrom-Hilfsversorgungen	66
14.4	Batterien und unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV).....	66
14.5	Notstromversorgung.....	67
15	Geräusche	68
15.1	Allgemeines.....	68
15.2	Belästigung der Öffentlichkeit	68
15.2.1	Allgemeines.....	68
15.2.2	Ventile und deren Kühleinrichtungen	68
15.2.3	Stromrichtertransformatoren	68
15.2.4	Gleichstromdrosseln	69
15.2.5	Wechselstromdrosseln.....	69
15.3	Geräusche im Arbeitsbereich.....	69
16	Oberschwingungsstörungen – Wechselstrom	69
16.1	Wechselstromseitige Erzeugung von Oberschwingungen	69
16.2	Filter	70
16.3	Kriterien für die Störbeeinflussung	73
16.4	Störpegel	74
16.5	Betriebsverhalten der Filter	75
17	Oberschwingungsstörungen – Gleichstrom	75
17.1	Gleichstromseitige Störungen	75

17.1.1	Oberschwingungsströme in der HGÜ-Leitung	75
17.1.2	Charakteristische und nicht charakteristische Oberschwingungen.....	75
17.1.3	Gruppen der Oberschwingungen	76
17.1.4	Berechnung der Oberschwingungsströme.....	76
17.1.5	Berechnung induzierter Spannungen.....	76
17.1.6	Sicherheit von Personen	76
17.1.7	Gleichstromfilter.....	76
17.2	Betriebsverhalten der Gleichstromfilter	77
17.2.1	Anforderungen an Sprachkommunikationskreise	77
17.2.2	Störpegel	78
17.2.3	Sicherheit.....	78
17.3	Spezifikationsanforderungen	78
17.3.1	Wirtschaftlicher Grad der Filterung.....	78
17.3.2	Allgemeine Kriterien	79
17.3.3	Faktoren, die bei Berechnungen zu berücksichtigen sind	79
17.3.4	Berechnung der Ströme	80
18	Störung der Trägerfrequenzübertragung auf Hochspannungsleitungen (PLC)	80
18.1	Allgemeines	80
18.2	Spezifikation des Betriebsverhaltens	81
19	Funkstörungen.....	83
19.1	Allgemeines	83
19.2	Funkstörungen durch HGÜ-Systeme	83
19.2.1	Quellen für Funkstörungen.....	83
19.2.2	Ausbreitung der Funkstörungen	83
19.2.3	Kennwerte von Funkstörungen	84
19.3	Spezifikation des Funkstörverhaltens.....	85
19.3.1	Risikobewertung bei Funkstörungen.....	85
19.3.2	Festlegung der Grenzwerte von Funkstörungen und deren Verifizierung	85
19.3.3	Betrachtungen zur Auslegung	86
20	Leistungsverluste.....	86
20.1	Allgemeines	86
20.2	Hauptsächlich beitragende Quellen	87
20.2.1	Allgemeines	87
20.2.2	Wechselstromfilter und Blindleistungskompensation	87
20.2.3	Stromrichterbrücken	87
20.2.4	Stromrichtertransformator	87
20.2.5	Gleichstromdrossel.....	87
20.2.6	Gleichstromfilter.....	88
20.2.7	Hilfseinrichtungen	88

20.2.8	Weitere Bauteile	88
21	Vorkehrungen für Erweiterungen von HGÜ-Systemen	88
21.1	Allgemeines	88
21.2	Spezifikation für Erweiterungen	88
Anhang A (informativ) Faktoren, die die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Stromrichterstationen beeinflussen		91
A.1	Konstruktion und Dokumentation	91
A.1.1	Allgemeines	91
A.1.2	Allgemeine Konstruktionsgrundsätze	91
A.1.3	Ausführlichere Konstruktionsgrundsätze	92
A.1.4	Konstruktionsgrundsätze für die Software	92
A.1.5	RAM-Aufzeichnungen	93
A.2	Betrieb	93
A.2.1	Schulung	93
A.2.1.1	Die Bedeutung von Schulungen zu „RAM“ einer HGÜ-Station	93
A.2.1.2	Kurse	93
A.2.2	Instandhaltungsprogramme mit Auswirkung auf die Zuverlässigkeit	94
A.2.2.1	Grundlagen	94
A.2.2.2	Auslegung der Systeme und Festlegung der Ausrüstung für optimale Instandhaltbarkeit	94
A.2.2.3	Planung von Instandhaltungsprogrammen	94
A.2.3	Ersatzteile	95
A.2.3.1	Ersatzteiltypen	95
A.2.3.2	Bewertung	96
A.2.3.3	Eine typische Ersatzteilliste	96
Literaturhinweise		98
Bilder		
Bild 1 – 12-Puls-Stromrichtergruppe		12
Bild 2 – Beispiele für HGÜ-Kurzkupplung		15
Bild 3 – HGÜ-Monopol-System mit Erdrückleitung		16
Bild 4 – Zwei 12-Puls-Stromrichtergruppen in Reihenschaltung		17
Bild 5 – Zwei 12-Puls-Stromrichtergruppen in Parallelschaltung		18
Bild 6 – HGÜ-Monopol-System mit metallischer Rückleitung		19
Bild 7 – Bipolares System		21
Bild 8 – Metallischer Rückleitungsbetrieb des störungsfreien Pols in einem bipolaren System		23
Bild 9 – Bipolares HGÜ-System mit metallischem Rückleiter		24
Bild 10 – Bipolares System mit zwei 12-Puls-Gruppen je Pol in Reihenschaltung		26
Bild 11 – Bipolares System mit zwei 12-Puls-Gruppen je Pol in Parallelschaltung		27
Bild 12 – Gleichstrom-Schaltanlagen von Außenleitern		28
Bild 13 – Gleichstrom-Schaltanlagen von Stromrichterpolen		29

	Seite
Bild 14 – Gleichstrom-Schaltanlagen – Freileitung zu Kabel.....	30
Bild 15 – Gleichstrom-Schaltanlagen – Zwei bipolare Stromrichter und Leitungen	31
Bild 16 – Gleichstrom-Schaltanlagen – Zwischenschaltung	32
Bild 17 – Anordnungen mit kondensatorgeführtem Stromrichter	33
Bild 18 – Schwankungen der Blindleistung Q in Abhängigkeit von der Wirkleistung P an einem HGÜ-Stromrichter	47
Bild 19 – Hierarchische Struktur der Regelung	57
Bild 20 – Strom-Spannung-Kennlinien eines Stromrichters	59
Bild 21 – Beispiele von Wechselstrom-Filterschaltungen für ein HGÜ-Bipol-System	71
Bild 22 – Stromlaufpläne für verschiedene Filtertypen	72
Bild 23 – Gemittelte Ergebnisse eines RY COM-Geräuschmessgerätes – Typische Kurve der Stromrichter-Geräuschpegel an der Gleichstromleitung, korrigiert und normiert auf eine Bandbreite von 3 kHz, 0 dBm = 1 mW, was 0,775 V bei einem Pol-zu-Pol-Wellenwiderstand von 600 Ω entspricht	82
Bild 24 – Erweiterungsmöglichkeiten von HGÜ-Systemen	90
Bild 25 – Empfohlenes Messverfahren mit Definition von Messstellen	86
Bild 26 – Bipolares Hybridsystem aus LCC und VSC	35
Tabellen	
Tabelle 1 – Bereitzustellende Angaben für eine HGÜ-Station	36
Tabelle 2 – Parameter des Betriebsverhaltens für Sprachkommunikationskreise: Teilnehmer- und Fernleitungskreise	77

Nationales Vorwort

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 331 „Leistungselektronik“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die VDE-Leitlinien enthalten sicherheitstechnische Festlegungen mit einem im Vergleich zu den VDE-Bestimmungen wesentlich erweiterten Ermessensraum für eigenverantwortliches sicherheitstechnisches Handeln.

VDE-Leitlinien sind angebracht, wenn die Vielfalt der zu betrachtenden Sachlagen oder Gestaltungsmöglichkeiten nach vorherrschender Meinung durch unmittelbar anwendbare Anweisungen nicht erfasst werden kann. Sie dienen dem Anwender als Beispielsammlung oder Grundlage für eigene sicherheitstechnische Entscheidungen. Für sich allein sind sie nicht als ausreichende Entscheidungsgrundlage für die Genehmigungs- und Überwachungsbehörden oder die Anwender geeignet.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 22F „Power electronics for electrical transmission and distribution systems“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

A1 Die Änderung A1 wurde in den Text eingearbeitet und durch einen senkrechten Strich und der Kennzeichnung „A1“ am linken Seitenrand markiert.

A2 Die Änderung A2 wurde in den Text eingearbeitet und durch einen senkrechten Strich und der Kennzeichnung „A2“ am linken Seitenrand markiert.

Die Deutsche Fassung wurde im [Abschnitt 2](#) an den aktuellen Standardtext angepasst.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnietsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	CISPR 11	–	–
–	CISPR 16 (alle Teile)	–	–
–	CISPR 18	–	–
–	ISO 1996-1	–	–
EN ISO 9000	ISO 9000	DIN EN ISO 9000	–
EN ISO 9000-3 <i>zurückgezogen</i>	ISO 9000-3 <i>zurückgezogen</i>	DIN EN ISO 9000-3 <i>zurückgezogen</i>	–
EN ISO 9001	ISO 9001	DIN EN ISO 9001	–
–	ISO 10000 (alle Teile) ^{N1}	–	–
EN 60146-1-1	IEC 60146-1-1	DIN EN 60146-1-1 (VDE 0558-11)	VDE 0558-11
–	IEC/TR 60146-1-2	DIN IEC/TR 60146-1-2 (DIN SPEC 48146-1-2)	–
EN 60146-1-3	IEC 60146-1-3	DIN EN 60146-1-3 (VDE 0558-8)	VDE 0558-8
EN 60146-2:2000	IEC 60146-2:1999	DIN EN 60146-2 (VDE 0558-2):2001-02	VDE 0558-2
–	IEC/TR 60146-6:1992 ^{N2}	–	–
EN 60633	IEC 60633	DIN EN 60633	–
EN 60700-1	IEC 60700-1	DIN EN 60700-1 (VDE 0553-1)	VDE 0553-1
–	IEC 60919 (alle Teile) ^{N3}	–	–
EN 61148	IEC 61148	DIN EN 61148	–
EN 61803	IEC 61803	DIN EN 61803	–
–	IEC 62100 (alle Teile) ^{N4}	–	–

^{N1} Nationale Fußnote: Korrekt ist ISO/IEC TR 10000.

^{N2} Nationale Fußnote: Korrekt ist IEC/TR2 60146-2:1992.

^{N3} Nationale Fußnote: Korrekt ist IEC/TR 60919.

^{N4} Nationale Fußnote: Korrekt ist IEC/TS 62001.

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60146-1-1 (VDE 0558-11), *Halbleiter-Stromrichter – Allgemeine Anforderungen und netzgeführte Stromrichter – Teil 1-1: Festlegung der Grundanforderungen*

DIN EN 60146-1-3 (VDE 0558-8), *Halbleiter-Stromrichter – Allgemeine Anforderungen und netzgeführte Stromrichter – Teil 1-3: Transformatoren und Drosselspulen*

DIN EN 60146-2 (VDE 0558-2):2001-02, *Halbleiter-Stromrichter – Teil 2: Selbstgeführte Halbleiter-Stromrichter einschließlich Gleichstrom-Direktumrichter (IEC 60146-2:1999); Deutsche Fassung EN 60146-2:2000*

DIN EN 60633, *Terminologie für Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ)*

DIN EN 60700-1 (VDE 0553-1), *Thyristorventile für Hochspannungsgleichstrom-Energieübertragung (HGÜ) – Teil 1: Elektrische Prüfung*

DIN EN 61148, *Kennzeichnung der Anschlüsse von Ventilbauelement-Baugruppen und -Sätzen sowie von Stromrichtergeräten*

DIN EN 61803, *Bestimmung der Leistungsverluste in Hochspannungsgleichstrom (HGÜ)-Stromrichterstationen mit netzgeführten Stromrichtern*

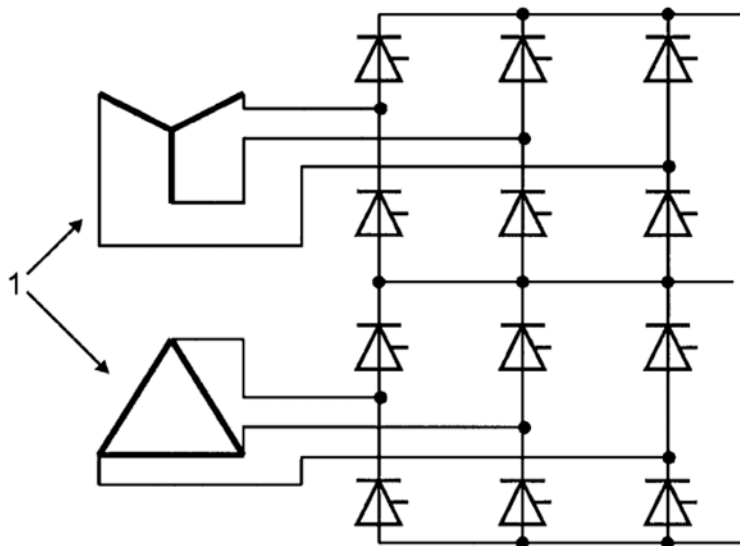
DIN EN ISO 9000, *Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe*

DIN EN ISO 9001, *Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen*

DIN IEC/TR 60146-1-2 (DIN SPEC 48146-1-2), *Halbleiter-Stromrichter – Allgemeine Anforderungen und netzgeführte Stromrichter – Teil 1-2: Anwendungsleitfaden*

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60919^{N5} enthält eine allgemeine Leitlinie zu den Anforderungen an das Betriebsverhalten von Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs-(HGÜ)Systemen im eingeschwungenen Zustand. Er befasst sich mit dem Betriebsverhalten im eingeschwungenen Zustand von HGÜ-Zweipunkt-Systemen mit 12-Puls-Stromrichtergruppen, die aus Drehstrom-(Zweiweg-)Brückenschaltungen bestehen (siehe Bild 1); Mehrpunkt-HGÜ-Systeme werden jedoch nicht behandelt. Es wird vorausgesetzt, dass an beiden Punkten Thyristorventile als Haupthalbleiterventile eingesetzt werden und die Leistung in beide Richtungen steuerbar ist. Diodenventile werden in diesem Technischen Bericht nicht betrachtet.



Legende

1 Ventilwicklungen des Transformators

Bild 1 – 12-Puls-Stromrichtergruppe

In diesem Technischen Bericht werden nur netzgeführte Stromrichter behandelt, was kondensatorgeführte Stromrichterschaltungen einschließt. Allgemeine Anforderungen an netzgeführte Halbleiter-Stromrichter sind in [IEC 60146-1-1](#), [IEC/TR 60146-1-2](#) und [IEC 60146-1-3](#) angegeben. Spannungszwischenkreis-Stromrichter werden nicht berücksichtigt.

Diesem Technischen Bericht, der das Betriebsverhalten im eingeschwungenen Zustand behandelt, werden weitere Dokumente zum dynamischen Betriebsverhalten und zum transienten Betriebsverhalten folgen. Bei der Erarbeitung von Spezifikationen von HGÜ-Zweipunkt-Systemen sollten alle drei Aspekte in Betracht gezogen werden.

Der Unterschied zwischen Spezifikationen zum System-Betriebsverhalten und zur Betriebsmittelauslegung einzelner Bestandteile eines Systems sollte berücksichtigt werden. In diesem Technischen Bericht werden keine Festlegungen für Betriebsmittel und Prüfanforderungen getroffen. Ebenso werden genauere Anforderungen an das Erdbehrverhalten nicht behandelt. Außerdem können in diesem Technischen Bericht auf Grund der zahlreichen Unterschiede zwischen verschiedenen möglichen HGÜ-Systemen nicht alle Systeme detailliert beschrieben werden; folglich sollte er nicht direkt als Spezifikation für ein bestimmtes Projekt, sondern als Grundlage für eine zweckmäßige Spezifikation angewendet werden, welche auf die Anforderungen an ein reales System zugeschnitten wird.

Die Spezifikationen für das System-Betriebsverhalten werden für die beiden HGÜ-Stationen in einem bestimmten System häufig als ein Paket erarbeitet. Alternativ dazu können einige Teile des HGÜ-Systems getrennt voneinander festgelegt und beschafft werden. In diesen Fällen sollten die Koordination jedes Teiles mit den Zielen des Betriebsverhaltens des gesamten HGÜ-Systems berücksichtigt und die Schnittstelle jedes

^{N5} Nationale Fußnote: Korrekt ist IEC/TR 60919.

einzelnen Teiles mit dem System eindeutig festgelegt werden. Typisch für solche Teile, die in zweckmäßiger Reihenfolge der relativen Einfachheit für eine gesonderte Behandlung und Festlegung der Schnittstelle aufgeführt werden, sind:

- a) Gleichstromleitung, Elektrodenleitung und Erdelektrode;
- b) Telekommunikationssystem;
- c) Stromrichtergebäude, Fundamente und weitere Bauleistungen;
- d) Blindleistungsquellen einschließlich Wechselstrom-Parallelkondensatorbänken, Drosselspulen, synchrone und statische Blindleistungsmaschinen (VAR);
- e) Wechselstromschaltgeräte;
- f) Gleichstromschaltgeräte;
- g) Hilfssysteme;
- h) Wechselstromfilter;
- i) Gleichstromfilter;
- j) Gleichstromdrosseln;
- k) Stromrichtertransformatoren;
- l) Überspannungsableiter;
- m) Reihenkommütierungskondensatoren;
- n) Ventile und deren Zubehör;
- o) Steuer- und Schutzsysteme.

ANMERKUNG Die letzten vier Punkte sind am schwierigsten voneinander zu trennen, und deshalb wird von einer echten Trennung abgeraten.

Für eine vollständige Spezifikation des stationären Betriebsverhaltens eines HGÜ-Systems sollten die [Abschnitte 3 bis 21](#) des vorliegenden Technischen Berichts berücksichtigt werden.

Die Begriffe, die in diesem Technischen Bericht für die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) verwendet werden, sind in IEC 60633 angegeben.

Weil die Betriebsmitteleinheiten üblicherweise getrennt voneinander festgelegt und beschafft werden, so gehören HGÜ-Leitung, Erdelektrodenleitung und Erdelektrode (siehe Abschnitt 10) nur auf Grund ihres Einflusses auf das Betriebsverhalten des HGÜ-Systems dazu.

Für die Anwendung dieses Technischen Berichts wird angenommen, dass eine HGÜ-Station aus einem oder mehreren Stromrichter(n) besteht und an einem Aufstellungsort gemeinsam mit Gebäuden, Drosseln, Filtern, Blindleistungsquellen, Steuerungs-, Überwachungs-, Schutz-, Mess- und Hilfseinrichtungen installiert ist. Obwohl in diesem Technischen Bericht Wechselstrom-Schaltanlagen nicht diskutiert werden, so wurden dennoch Wechselstromfilter und Blindleistungsquellen aufgenommen, obwohl sie an eine Drehstrom-Sammelschiene getrennt von der HGÜ-Station angeschlossen sein können, wie es in [Abschnitt 16](#) diskutiert wird.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60146-1-1, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-1: Specifications of basic requirements*

IEC/TR 60146-1-2, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-2: Application guide*

3 Arten von HGÜ-Systemen

3.1 Allgemeines

Dieser Teil der Spezifikation sollte die folgenden grundlegenden Angaben enthalten:

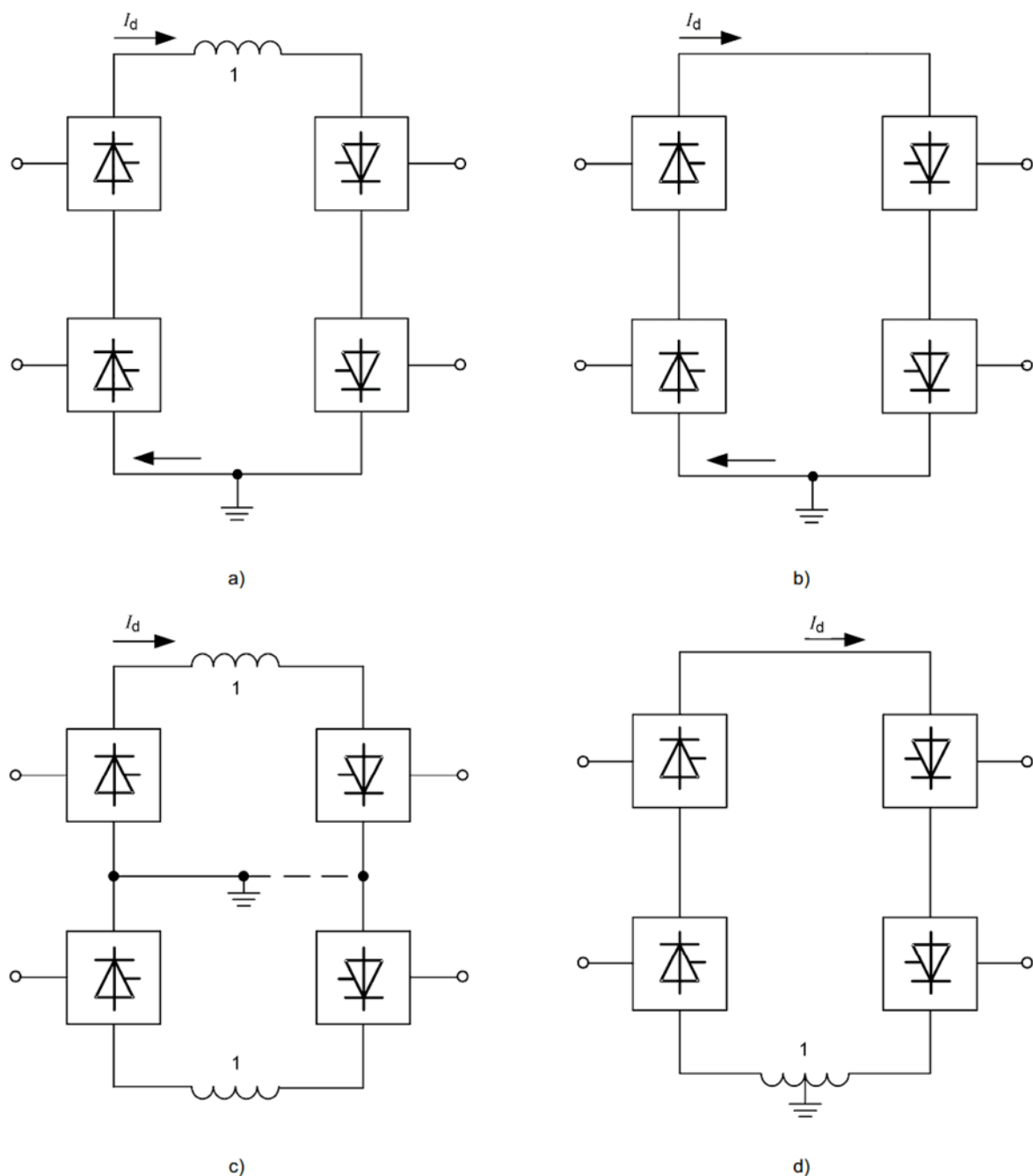
- a) allgemeine Angaben zum Aufstellungsort der HGÜ-Stationen und das Ziel des Projektes;
- b) Typ des erforderlichen Systems, einschließlich einem einfachen Übersichtsschaltbild;
- c) die Anzahl der 12-Puls-Stromrichtergruppen;
- d) zweckdienliche Angaben, die aus der Diskussion in diesem Abschnitt abgeleitet werden.

Bei der Untersuchung von Projekten, die in diesem Technischen Bericht diskutiert werden, sollten die ökonomische Betrachtungen im Allgemeinen die Investitionskosten, Kosten von Verlusten, Kosten von Nichtverfügbarkeiten und weitere erwartete jährliche Ausgaben berücksichtigen.

Hinsichtlich der Art des Systems können die relativ neuen Entwicklungen von „kondensatorgeführten Stromrichtern“ (CCC) (en: capacitor-commutated converter) und „gesteuerten Reihenkapazitor-Stromrichtern“ (CSCC) (en: controlled series capacitor converter) geeignete Alternativen zu einem konventionellen HGÜ-System darstellen. Diese werden in [3.10](#) beschrieben.

3.2 HGÜ-Kurzkupplung

In dieser Anordnung gibt es keine Gleichstromleitung und die beiden Stromrichter befinden sich an einem Aufstellungsort. Die Ventile der beiden Stromrichter können in einer Ventilhalle oder sogar in einem integrierten Bauwerk oder getrennt als Freiluft-Ventile angeordnet sein. In ähnlicher Weise können viele weitere Teile der beiden Stromrichter, wie Steuersystem, Kühleinrichtung, Hilfssystem usw., in einem Bereich angeordnet oder sogar in gemeinsamen Anordnungen für die beiden Stromrichter integriert sein. Die Stromkreis-anordnungen können verschieden sein. Beispiele sind in [Bild 2](#) angegeben. Das Betriebsverhalten und die Wirtschaftlichkeit dieser Anordnungen unterscheiden sich und müssen bewertet werden. Gleichstromfilter sind nicht erforderlich.



Legende

1 Gleichstromdrossel

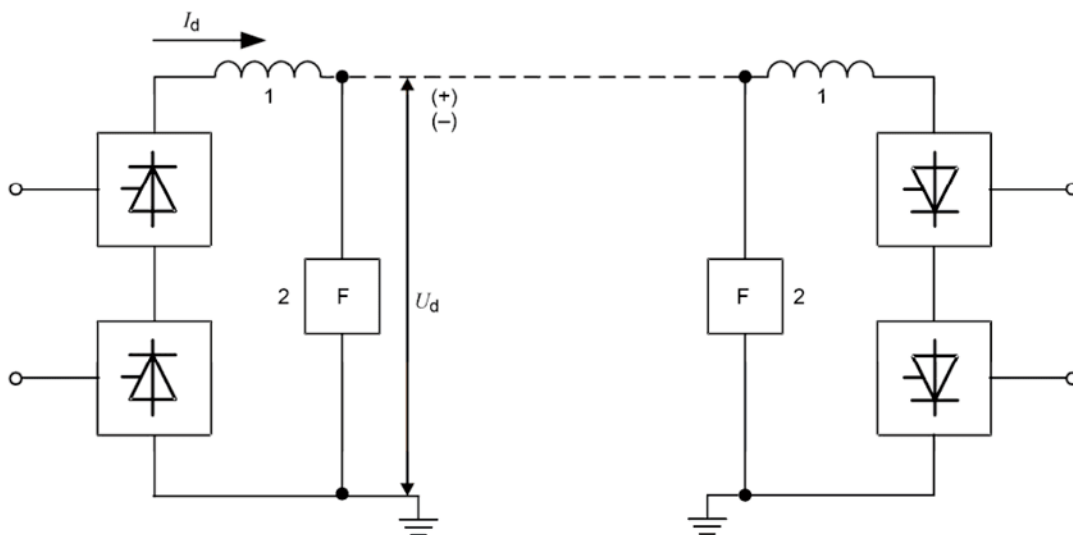
Bild 2 – Beispiele für HGÜ-Kurzkupplung

Um die niedrigsten Systemkosten, einschließlich der bewerteten Kosten für Verluste, zu erreichen, sollten die Strom- und Spannungsdimensionierungen für eine gegebene Leistungsdimensionierung optimiert werden. Üblicherweise braucht der Anwender nicht die Dimensionierungswerte von Gleichspannung und -strom festzulegen, sofern es nicht besondere Gründe dafür gibt, wie z. B. die Kompatibilität mit einer bereits bestehenden Station, Berücksichtigung einer zukünftigen Erweiterung oder sonstige Gründe. Die Wirtschaftlichkeit gibt vor, dass jeder Stromrichter üblicherweise eine 12-Puls-Stromrichtergruppe sein wird, was jedoch nicht verbindlich ist. Wenn die Betriebskriterien fordern, dass bei einem Ausfall einer Stromrichtergruppe nicht das gesamte Leistungsvermögen entfällt, könnten große HGÜ-Stationen aus zwei oder mehr Kurzkupplungssystemen bestehen. Aus ökonomischen Gründen können deshalb einige Betriebsmittel der Kurzkupplung im gleichen Bereich angeordnet oder sogar physikalisch integriert sein, jedoch sind Ereignisse, die einen Ausfall eines von allen

Kurzkupplungssystemen benötigten Betriebsmittels verursachen könnten, sorgfältig zu berücksichtigen und gegebenenfalls mit vorbeugenden Maßnahmen abzufangen.

3.3 HGÜ-Monopol-System mit Erdrückleitung

Kostenüberlegungen führen häufig zur Anwendung eines HGÜ-Monopol-Systems mit Erdrückleitung (Bild 3), besonders hinsichtlich zur Kabelübertragung, die kostenaufwendig sein kann.



Legende

- 1 Gleichstromdrossel
- 2 Gleichstromfilter

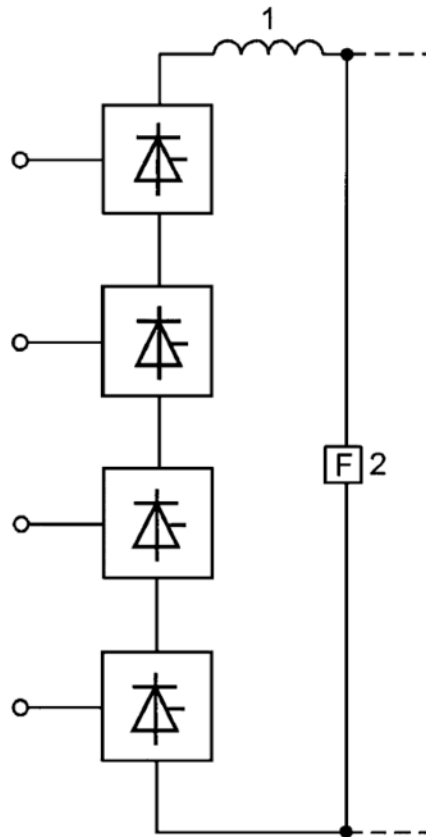
Bild 3 – HGÜ-Monopol-System mit Erdrückleitung

Die Monopol-Erdrückleitung kann auch die erste Stufe bei der Entwicklung eines bipolaren Systems sein. Monopol-Anordnungen können an den Enden der HGÜ-Leitung (Bilder 4 und 5) eine oder mehrere 12-Puls-Stromrichtergruppen in Reihe oder parallel umfassen. Mehr als eine 12-Puls-Stromrichtergruppe kann zu folgenden Zwecken angewendet werden:

- a) um während der Nichtverfügbarkeit des Stromrichters eine Teilübertragungskapazität sicherzustellen;
- b) um das Projekt stufenweise zu vervollständigen;
- c) aufgrund der physikalischen Einschränkungen des Transformatortransports.

Bei dieser Anordnung ist eine oder sind mehrere Gleichstromdrosseln an jedem Ende der HGÜ-Freileitung bzw. des HGÜ-Kabels erforderlich; sie werden üblicherweise an der Hochspannungsseite eingesetzt. Insbesondere bei einer größeren Anordnung mit Ultrahochspannungs-Gleichstromrichtern dürfen die Gleichstromdrosseln jedoch in zwei Teile aufgeteilt werden und jeweils an der Hochspannungs- und an der Erdseite angebracht werden, sofern das sich ergebende Betriebsverhalten annehmbar ist.

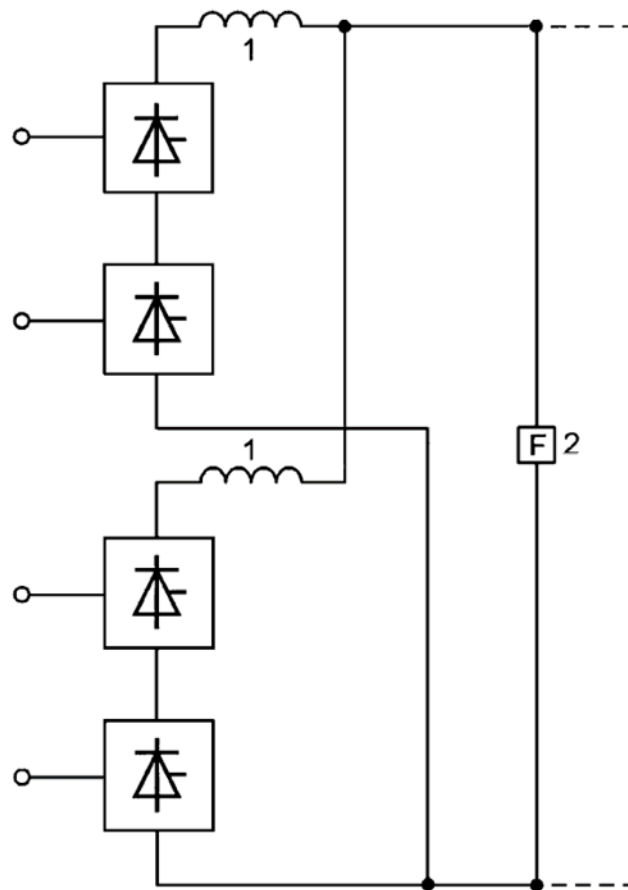
Wenn die Leitung eine Freileitung ist, dann werden die Gleichstromfilter wahrscheinlich an jedem Ende benötigt (siehe Abschnitt 17). Dabei ist auch eine Erdelektrodenleitung und eine durchgängig betriebsbereite Erdelektrode an den beiden Enden der Übertragung erforderlich, was dazu führt, dass Fragen wie Korrosion, Auswirkungen magnetischer Felder usw. zu berücksichtigen sind.



Legende

- 1 Gleichstromdrossel
- 2 Gleichstromfilter

Bild 4 – Zwei 12-Puls-Stromrichtergruppen in Reihenschaltung

**Legende**

- 1 Gleichstromdrossel
- 2 Gleichstromfilter

Bild 5 – Zwei 12-Puls-Stromrichtergruppen in Parallelschaltung**A2****3.4 HGÜ-Monopol-System mit metallischer Rückleitung**

Die Anordnung in Bild 6 wird allgemein zu folgenden Zwecken verwendet:

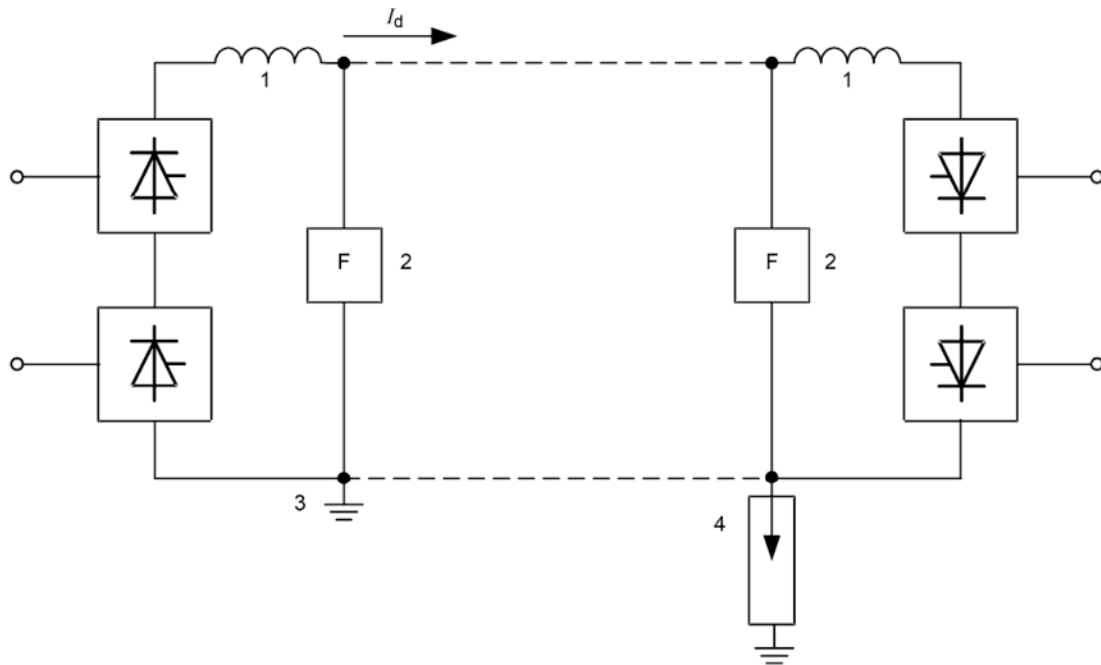
- a) als die erste Stufe beim Aufbau eines bipolaren Systems und wenn der langdauernde Fluss des Erdstroms während der Zwischenperioden nicht erwünscht ist oder
- b) wenn die Übertragungsleitung kurz genug ist und es unökonomisch und unerwünscht ist, Erdelektrodenleitungen und Erdelektroden zu errichten, oder
- c) wenn der spezifische Erdwiderstand groß genug ist, um unannehmbare ökonomische Bedingungen zu stellen, oder
- d) wenn der langdauernde Fluss des Erdstromes auf Grund von Umwelt- und Sicherheitsanforderungen unannehmbar ist.

Bei diesem Aufbau wird ein Hochspannungs- und ein Niederspannungsleiter eingesetzt. Der Neutralleiter ist an einer der zwei HGÜ-Stationen an deren Stationserde angeschlossen oder anderenfalls an die zugehörige Erdelektrode. Der Neutralleiter der anderen HGÜ-Station ist über einen Kondensator oder einen Überspannungsableiter oder beides an die Stationserde angeschlossen.

An beiden Enden des Hochspannungsleiters sind Gleichstromdrosseln erforderlich. Die Gleichstromdrossel kann jedoch auch an der Erdseite angeordnet werden, wenn das sich ergebende Betriebsverhalten annehmbar ist. Wenn die HGÜ-Leitung eine Freileitung ist, können Gleichstromfilter erforderlich sein.

Wenn diese Anordnung die erste Stufe eines bipolaren Systems ist, könnte dessen Neutralleiter gegen die Hochspannung isoliert sein bei dieser Stufe der Entwicklung.

Bei einem metallischen Rückleitungssystem fließt der Gleichstrom-Fehlerstrom in das Wechselstromsystem und kommt durch den Neutralpunkt der Transformatoren, die in der HGÜ-Station installiert sind, zurück. Dieser Strom kann durch die Sättigung der Kerne durch den Gleichstrom eine Fehlfunktion der Schutzrelais an den naheliegenden Stationen verursachen. Zum Schutz vor solchen Fehlfunktionen ist es wirksam, Erdungswiderstände (mit geringem Widerstand) in den Sternpunkt der Transformatoren der Stromrichterstation einzubauen.



Legende

- 1 Gleichstromdrossel
- 2 Gleichstromfilter
- 3 Stationserde
- 4 Überspannungsableiter

Bild 6 – HGÜ-Monopol-System mit metallischer Rückleitung

3.5 HGÜ-Bipol-Erdrückleitungssystem

Diese Anordnung ist die am häufigsten angewendete, wenn eine Gleichstromübertragungsleitung zwei HGÜ-Stationen verbindet und Elektroden für die Erdrückleitung vorgesehen sind (Bild 7 (a)). Sie ist in der Wirksamkeit einer Doppelleitung-Wechselstromübertragung gleichwertig. Im Vergleich zum Monopol-Betrieb werden Oberwellenstörungen von der Gleichstromleitung verringert und der Erdstromfluss auf einem kleinen Wert gehalten. Bei der Kombination von zwei Monopol-Erdrückleitungssystemen kann sich ein bipolares System ergeben.

Bei Leistungsfluss in eine Richtung hat ein Pol eine positive Polarität gegen Erde und der andere Pol hat eine negative Polarität gegen Erde. Bei Leistungsfluss in die andere Richtung wechseln die beiden Pole ihre Polarität. Sind beide Pole in Betrieb, kann der unsymmetrische Stromfluss im Erdfeld auf einem sehr kleinen Wert gehalten werden.

A2

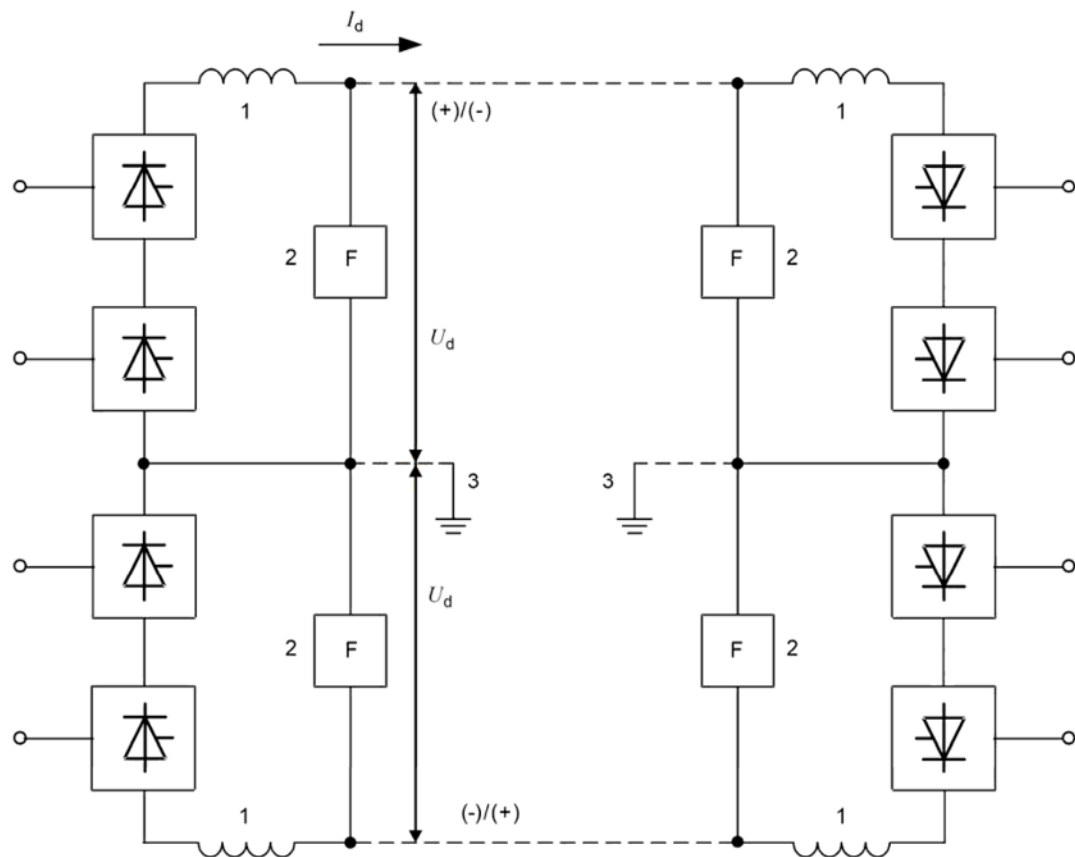


Bild 7 (a) – HGÜ-Bipol-System mit Erdrückleitung

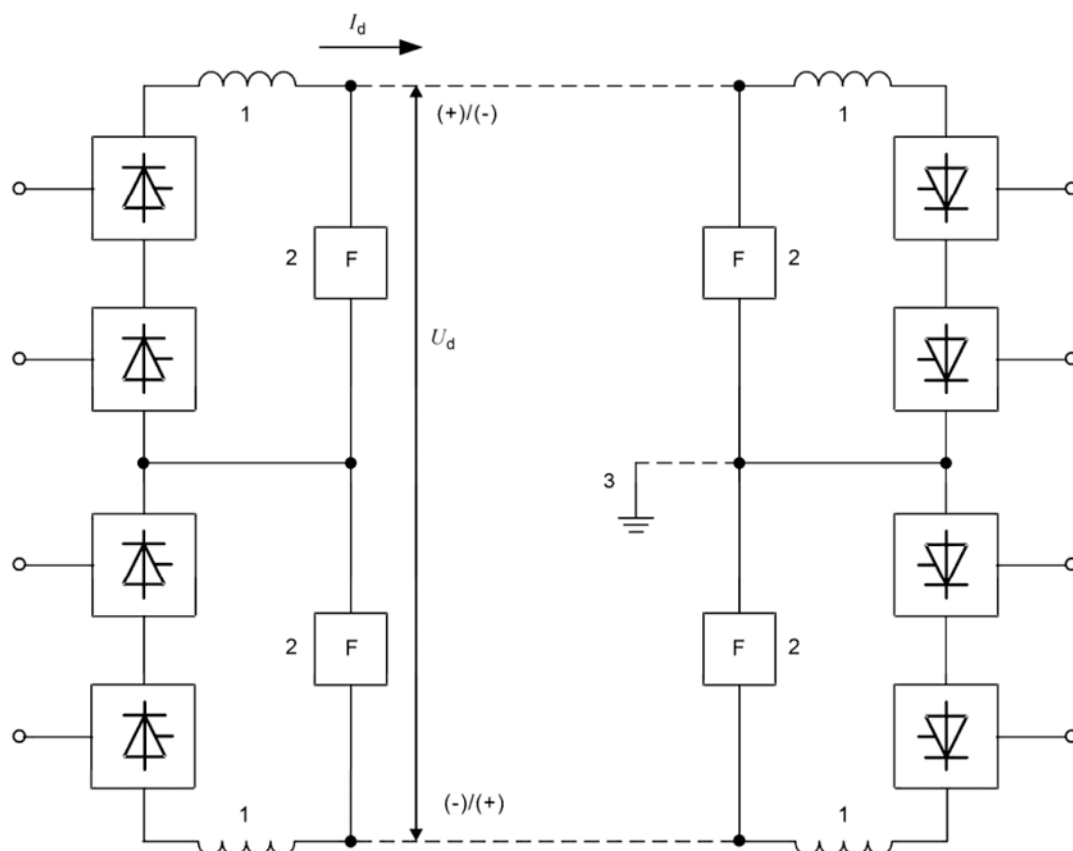


Bild 7 (b) – Rigides bipolares HGÜ-System

Legende

- 1 Gleichstromdrossel
- 2 Gleichstromfilter
- 3 Erdelektroden

Bild 7 – Bipolares System

Diese Anordnung bietet eine Reihe von Betriebsarten für Notfälle. In den Spezifikationen sollten deshalb die folgenden Anforderungen berücksichtigt werden:

- a) Während einer Nichtverfügbarkeit eines Pols der HGÜ-Leitung sollte der Stromrichter des anderen Pols für Dauerbetrieb mit Erdrückleitung ausgelegt sein.
- b) Wenn langdauernder Erdstromfluss unerwünscht ist und wenn der fehlerhafte Leitungspol noch ein gewisses Niederspannungs-Isolationsvermögen beibehält, sollte das bipolare System im monopolaren metallischen Rückleitungsmodus betrieben werden können (Bild 8). Zum Schalten in diese Notfallbetriebsart wird der Leiter des ausgeschalteten Pols zuerst parallel zum Erdfad geschaltet und anschließend wird der Erdfad unterbrochen, um den Strom an den Leiterpfad (über den Leiter des ausgeschalteten Pols) zu übertragen. Lastübertragung ohne Unterbrechung erfordert einen Schalter für die metallische Rückleitung (MRTB) (en: metallic return transfer breaker) an einem Anschluss der Gleichstromübertragungsleitung. Wenn eine kurze Unterbrechung des Leistungsflusses zulässig ist, wäre der MRTB nicht notwendig. Das neutrale Betriebsmittel am MRTB-Ende des HGÜ-Systems sollte gegen Erde für eine etwas höhere Spannung als das andere Ende des Systems isoliert sein.
- c) Während der Instandhaltung der Erdelektrode(n) oder der Erdelektrodenleitung(en) sollte der Betrieb des bipolaren Systems möglich sein, wobei der/die Neutralleiter der Station so lange an die Stationserde an einer oder an beiden HGÜ-Stationen angeschlossen ist/sind, wie der unsymmetrische Strom zwischen den zwei Polen, der in die Stationserde(n) eintritt, auf einem sehr kleinen Wert gehalten wird. Der unsymmetrische Strom sollte klein gehalten werden, um Sättigungseffekte in den Stromrichtertransformatoren aufgrund eines Teilflusses des unsymmetrischen Stromes durch die Neutralleiter des Transfor-

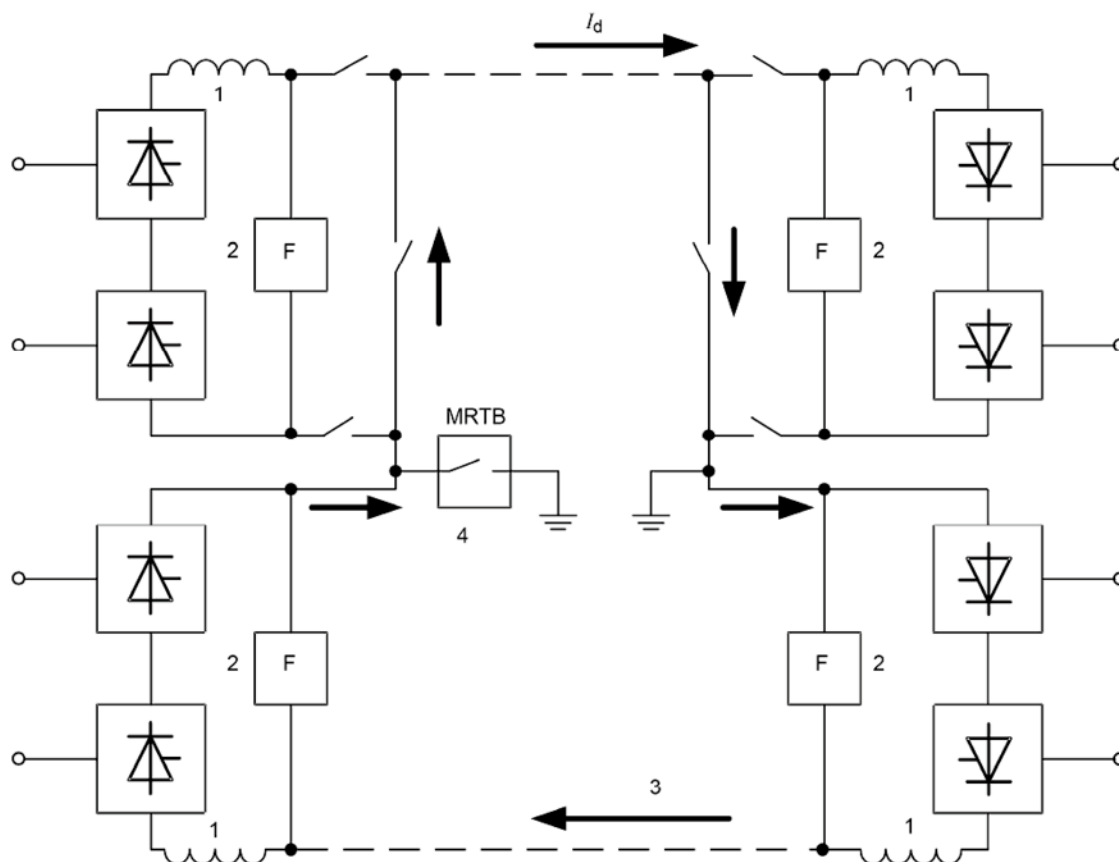
mators zu vermeiden. Wenn eine Übertragungsleitung des Stationspols ausgefallen ist, sollten bei dieser Anordnung beide Pole automatisch gesperrt werden.

- d) Beim bipolaren Betrieb, wenn beiden Erdelektroden miteinander verbunden sind, sollten die zwei Pole des HGÜ-Systems den Betrieb bei beträchtlich unterschiedlichen Strömen in jedem Pol zulassen. Dies kann notwendig sein, wenn die Kühlung ausfällt oder eine andere unübliche Bedingung den Betrieb eines Pols mit dem vollen Strom verhindert.
- e) Wenn die Fortsetzung des Betriebes bei teilweiser beschädigter Leitungsisolierung gefordert ist, sollten die Stromrichter für einen Dauerbetrieb bei verringerter Spannung so ausgelegt sein, dass jeder Pol bei verringerter Spannung betrieben werden kann (siehe 7.3).
- f) Bei einem Ausfall eines Pols der Übertragungsleitung können die Pole der zwei Stationen auch mit geeigneten Schaltern für die Polarisationsumkehr an mindestens einem Stationspol parallel geschaltet werden und so den Betrieb in der Betriebsart für Monopol-Erdrückleitung ermöglichen. Dies erfordert jedoch, dass die Gleichstromanschlüsse jeder 12-Puls-Gruppe für die volle Spannung des Pols isoliert sind und die Leitung und die Erdelektrode das Führen eines Stromes, der größer als der Normalstrom ist, thermisch zulassen.

Eine oder mehrere Gleichstromdrosseln ist bzw. sind an jedem Ende des Systems in jedem Pol erforderlich; sie werden üblicherweise an der Hochspannungsseite eingesetzt. Insbesondere bei einer größeren Anordnung mit Ultrahochspannungs-Gleichstromrichtern dürfen die Gleichstromdrosseln jedoch in zwei Teile aufgeteilt werden und jeweils an der Hochspannungs- und an der Erdseite angebracht werden, sofern das sich ergebende Betriebsverhalten annehmbar ist. Wenn das HGÜ-System über eine Freileitung verfügt, sind Gleichstromfilter wahrscheinlich erforderlich. Meistens wird eine 12-Puls-Gruppe je Pol verwendet, jedoch können bei Systemen großer Kapazität oder im Erweiterungsstadium 12-Puls-Gruppen in Reihen- oder Parallelschaltung erforderlich sein (Bilder 4 und 5).

A2

Die meisten HGÜ-Systeme verwenden Elektrodenleitungen oder metallische Rückleitungen (Kabel) für den Gleichstromrückleitungsweg. Solange jedoch stets ein symmetrischer bipolarer Betrieb sichergestellt ist, kann auf diese Einrichtungen verzichtet werden. Diese Anordnung wird „rigides bipolares HGÜ-System“ genannt, wie in Bild 7 (b) dargestellt. Mit diesem System sind die Hauptbetriebsarten zwar eingeschränkt, die Installationskosten können jedoch gesenkt werden.



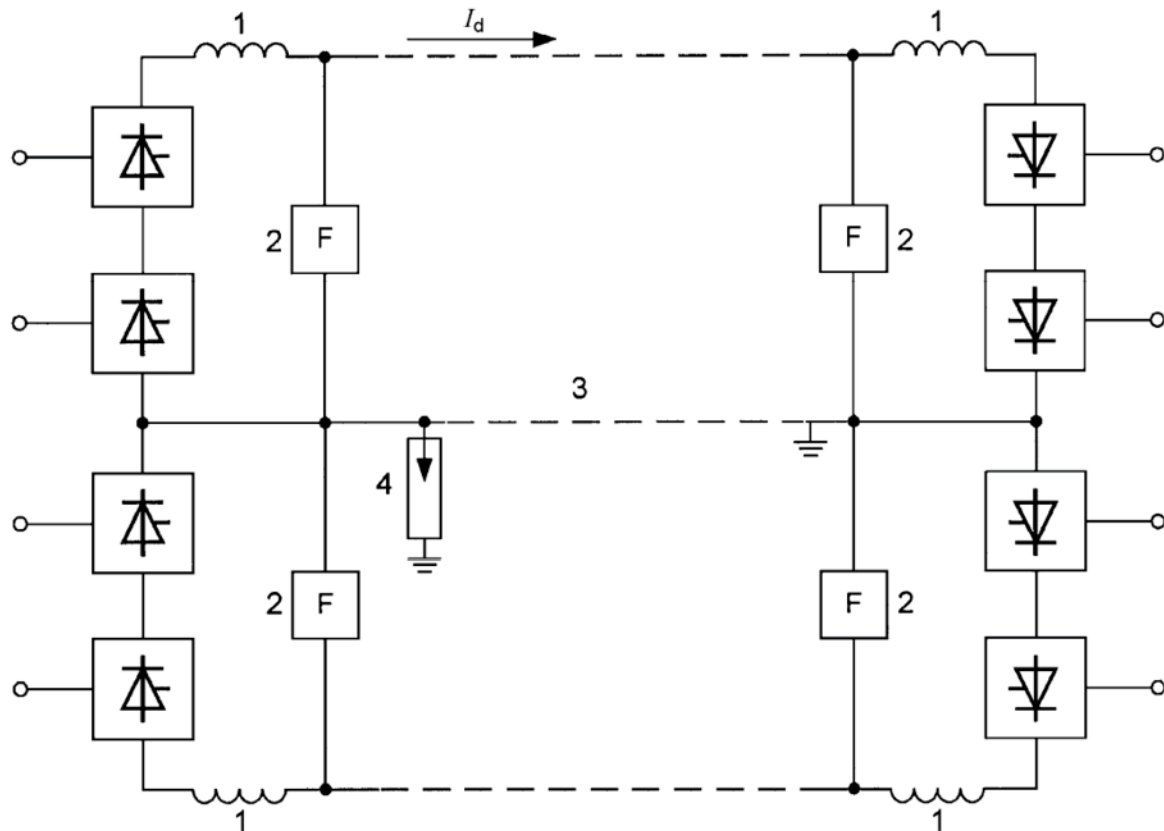
Legende

- 1 Gleichstromdrossel
- 2 Gleichstromfilter
- 3 eingeschalteter Pol
- 4 MRTB, Schalter für die metallische Rückleitung

Bild 8 – Metallischer Rückleitungsbetrieb des störungsfreien Pols in einem bipolaren System

3.6 Bipolares HGÜ-System mit metallischer Rückleitung

Wenn Erdströme nicht annehmbar sind (wie in 3.4, Aufzählungspunkt d) erwähnt) oder bei einem kurzen Abstand zwischen den Anschlüssen des HGÜ-Systems oder wenn eine Erdelektrode auf Grund des hohen Erdwiderstandes nicht realisierbar ist, dann kann die Übertragungsleitung mit einem dritten Leiter aufgebaut werden, um so ein bipolares HGÜ-System mit metallischem Rückleiter zu bilden (Bild 9). Dieser dritte Leiter führt unsymmetrische Ströme während des bipolaren Betriebes. Er dient auch als Rückleitungsweg, wenn ein Pol der Übertragungsleitung nicht in Betrieb ist. Dieser dritte Leiter erfordert nur eine Isolierung für eine verringerte Spannung und kann in diesem Fall auch als Erdseil dienen, wenn die Leitung eine Freileitung ist. Wenn sie jedoch voll isoliert ist, dann kann sie auch als Ersatzleiter dienen. In diesem Fall ist ein gesondertes Erdseil erforderlich.



Legende

- 1 Gleichstromdrossel
- 2 Gleichstromfilter
- 3 metallischer Neutraleiter
- 4 Überspannungsableiter

A2

Bild 9 – Bipolares HGÜ-System mit metallischem Rückleiter

Der Neutraleiter einer der beiden HGÜ-Stationen sollte geerdet sein, während der Neutraleiter am anderen Ende der Übertragungsleitung erdfrei wäre oder über einen Überspannungsableiter, einen Kondensator oder beides mit der Stationserde verbunden ist.

Mit diesem Aufbau kann das System noch in der bipolaren Betriebsart betrieben werden, wenn ein Leiter nicht verfügbar wird und der dritte Leiter vollisoliert ist. Dann sollten die Neutraleiter an beiden Anschlüssen an ihre lokalen Stationserden angeschlossen werden und es ist sorgfältig darauf zu achten, dass ein unsymmetrischer Stromfluss auf sehr kleinen Werten gehalten wird. Der Ausfall eines Pols erfordert das Sperren des anderen Pols, bis die notwendigen Schaltvorgänge für den Betrieb der verbleibenden intakten Teile des HGÜ-Systems abgeschlossen sind.

Wenn eine Station in den Zustand der Nichtverfügbarkeit gelangt, kann das System in der Betriebsart Monopol-metallische Rückleitung durch Verwendung des anderen Stationspols betrieben werden. Diese Anordnung wird auch eine „zugeordnete metallische Rückleitung“ (DMR) (en: dedicated metallic return) genannt.

A2

Bei einem metallischen Rückleitungssystem fließt der Gleichstrom-Fehlerstrom in das Wechselstromsystem und kommt durch den Neutralpunkt der Transformatoren, die in der HGÜ-Station installiert sind, zurück. Dieser Strom kann durch die Sättigung durch den Gleichstrom eine Fehlfunktion der Schutzrelais an den naheliegenden Stationen verursachen. Zum Schutz vor solchen Fehlfunktionen ist es wirksam, neutrale Erdungswiderstände (mit geringem Widerstand) in die Transformatoren der Stromrichterstation einzubauen.

3.7 Zwei 12-Puls-Gruppen je Pol

Für eine Hochleistungs-Stromrichteranordnung mit Ultra-Hochspannungs-Gleichstrom können zwei 12-Puls-Gruppen je Pol die bessere Lösung darstellen, um die erforderliche Bemessung zu erzielen, denn die Abmessungen und das Gewicht des Stromrichterbetriebsmittels (insbesondere des Stromrichtertransformators) wären zu groß, wenn nur eine 12-Puls-Gruppe je Pol eingesetzt werden würde.

A2 Zwei 12-Puls-Stromrichter können in Reihe (Bild 10) oder parallel (Bild 11) geschaltet werden und die Auswahl der Stromrichteranordnung richtet sich nach den spezifischen Anforderungen des Projekts. Wenn jedoch andererseits ein Projekt den Betrieb mit verringerter Spannung benötigt, z. B. aufgrund einer gelegentlichen Salzverunreinigung, dann kann eine Reihenschaltung Vorzug erhalten.

Grundsätzlich macht bei einer erzwungenen oder geplanten Nichtverfügbarkeit eines 12-Puls-Stromrichters die Wahl zwischen Reihen- und Parallelschaltung keinen Unterschied, was den Leistungsverlust betrifft. Es gehen nur 25 % der Kapazität verloren, falls Stromrichter mit der gleichen Nennleistung eingesetzt werden. Wenn ein ausreichendes Überlastvermögen verfügbar ist, kann die gesamte oder nahezu die gesamte Leistung wiederhergestellt werden. In der Reihenschaltung können nach einer erzwungenen oder geplanten Nichtverfügbarkeit eines 12-Puls-Stromrichters die beiden Pole noch mit einem symmetrischen Strom (ohne Erdstrom) betrieben werden. Es ist jedoch zu beachten, dass ein Überbrückungsschalter für jeden 12-Puls-Stromrichter in der Option mit Reihenschaltung erforderlich ist. Bei einer Parallelschaltung können die zwei Pole bei einer erzwungenen oder geplanten Nichtverfügbarkeit eines 12-Puls-Stromrichters mit einem unsymmetrischen Strom betrieben werden, während ein hoher Stromfluss durch die Erde erfolgt.

Die Kosten für die Anordnung von zwei 12-Puls-Gruppen je Pol sind im Vergleich zu einer 12-Puls-Gruppe je Pol für die gleiche Bemessung als höher einzuschätzen. Auch das Regelungssystem wird komplizierter.

A2 Bei einer großen Bipol-Kapazität können je Pol zwei 12-Puls-Gruppen in Reihenschaltung in Betracht gezogen werden. Das bedeutet, dass bei einer erzwungenen oder geplanten Nichtverfügbarkeit eines 12-Puls-Stromrichters nur 25 % der Kapazität verloren gehen und die beiden Pole noch mit einem symmetrischen Strom (ohne Erdstrom) für zwei 12-Puls-Gruppen in Reihenschaltung bzw. mit einem unsymmetrischen Strom (mit Erd-/metallischem Rückleitungsstrom) für zwei 12-Puls-Gruppen in Parallelschaltung betrieben werden können. Wenn ein ausreichendes Überlastvermögen verfügbar ist, kann die gesamte oder nahezu die gesamte Leistung wiederhergestellt werden. Weitere Vorteile dieser Anordnung sind, dass zwei 12-Puls-Systeme eine weiche Start- und Stoppsequenz und eine flexible Verwendung des HGÜ-Systems mit verschiedenen Kombinationen von Stromrichtergruppen gewährleisten.

Zum betriebsmäßigen Überbrücken oder Herausschalten jeder 12-Puls-Gruppe sind Gleichstromschaltgeräte erforderlich. Die Kosten für eine solche Anordnung sind im Vergleich zu einer 12-Puls-Gruppe je Pol für die gleiche Bemessung als höher einzuschätzen.

3.8 Anordnungen von Stromrichtertransformatoren

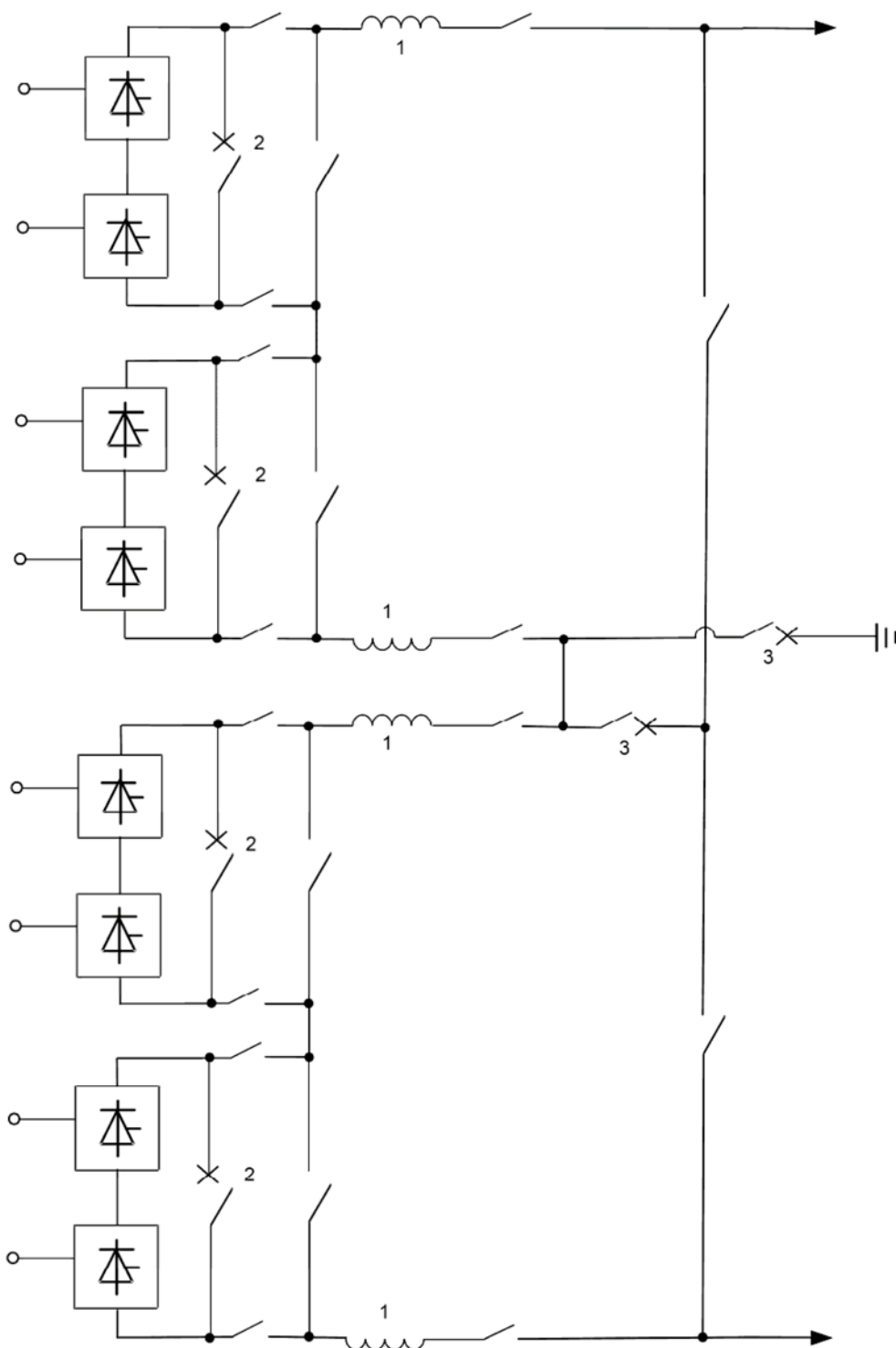
Jeder 12-Puls-Stromrichter erfordert zwei Drehstrom-Transformator-Ventilwicklungen, eine in Sternschaltung, die andere in Dreieckschaltung. Diese sind entweder vorgesehen durch:

- einen Drehstrom-Transformator mit zwei Ventilwicklungen oder
- zwei Drehstrom-Transformatoren, eine in Stern-Stern-Schaltung und die andere in Stern-Dreieck-Schaltung, oder
- drei Einphasen-Transformatoren, jeder mit zwei Ventilwicklungen, eine für Sternschaltung und die andere für Dreieckschaltung, oder
- sechs Einphasen-Transformatoren, verbunden in zwei Dreiphasenbänken, eine in Stern-Stern-Schaltung und die andere in Stern-Dreieck-Schaltung.

In Abhängigkeit von den Verfügbarkeitsanforderungen an das HGÜ-System können Ersatztransformatoren an einem oder beiden Enden erforderlich sein. Wird ein Drehstromtransformator mit zwei Ventilwicklungen verwendet, würde nur eine Ersatzeinheit notwendig sein. Weil die Drehstromtransformatoren in Stern- oder Dreieckschaltung unterschiedlich ausgelegt sein würden, würden Betrachtungen zu den Ersatzeinheiten darauf hinweisen, dass eine Ersatzeinheit je Auslegung notwendig ist. Nur eine Ersatzeinheit würde bei Einphasentransformatoren mit doppelter Ventilwicklung erforderlich sein, weil sie alle drei identisch sind. Die letzte der genannten Möglichkeiten würde nahelegen, zwei Ersatztransformatoren bereitzuhalten, je einen für Einphasentransformatoren mit einer Wicklung für Stern- bzw. Dreieckschaltung.

Wenn keine Ersatztransformatoren verwendet werden, dann erlauben die vorstehend genannten Alternativen b) und d) bei Nichtverfügbarkeit eines Transformators einen 6-Puls-Betrieb bei halber Leistung, sofern das HGÜ-System für diese Betriebsart ausgelegt ist und die Oberwellenbedingungen für Wechsel- und Gleichstrom annehmbar sind. Mit den Alternativen a) und c) ist kein 6-Puls-Betrieb möglich.

A1

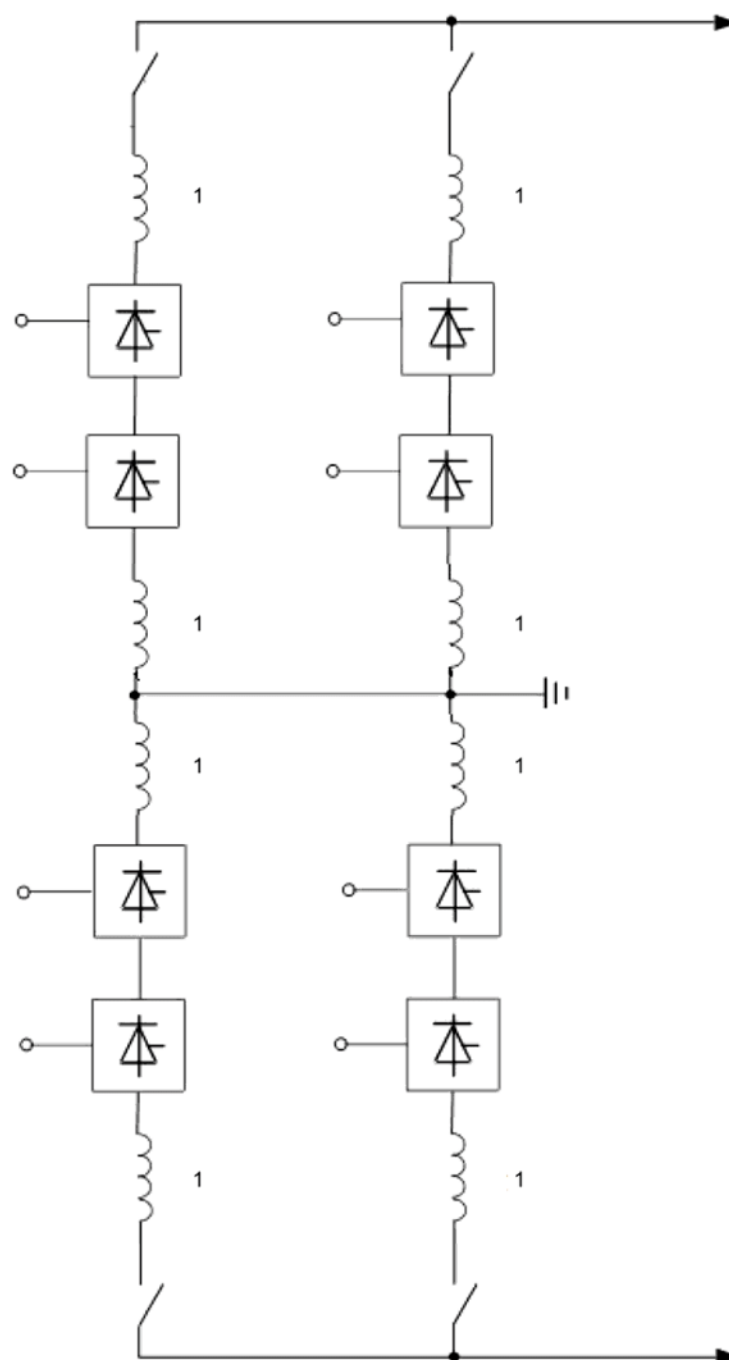


Legende

- 1 Gleichstromdrossel
- 2 Überbrückungsschalter
- 3 Gleichstromschaltgerät

Bild 10 – Bipolares System mit zwei 12-Puls-Gruppen je Pol in Reihenschaltung

A2 Bild 10 mit Gleichstromschaltgerät 3 (mit Bezeichnung: MRTB und GRTS) ist gewöhnlich für Gleichrichterstationen geltend. Für die Wechselrichterstation ist das Gleichstromschaltgerät 3 nicht erforderlich.



Legende

1 Gleichstromdrossel

Bild 11 – Bipolares System mit zwei 12-Puls-Gruppen je Pol in Parallelschaltung

A2 Die Gleichstromdrosseln müssen nicht immer aufgeteilt werden, insbesondere bei der Parallelschaltung. Die Anzahl und die Anordnung der Gleichstromdrosseln hängen von den Ergebnissen der Systemstudien und der Auslegung ab.

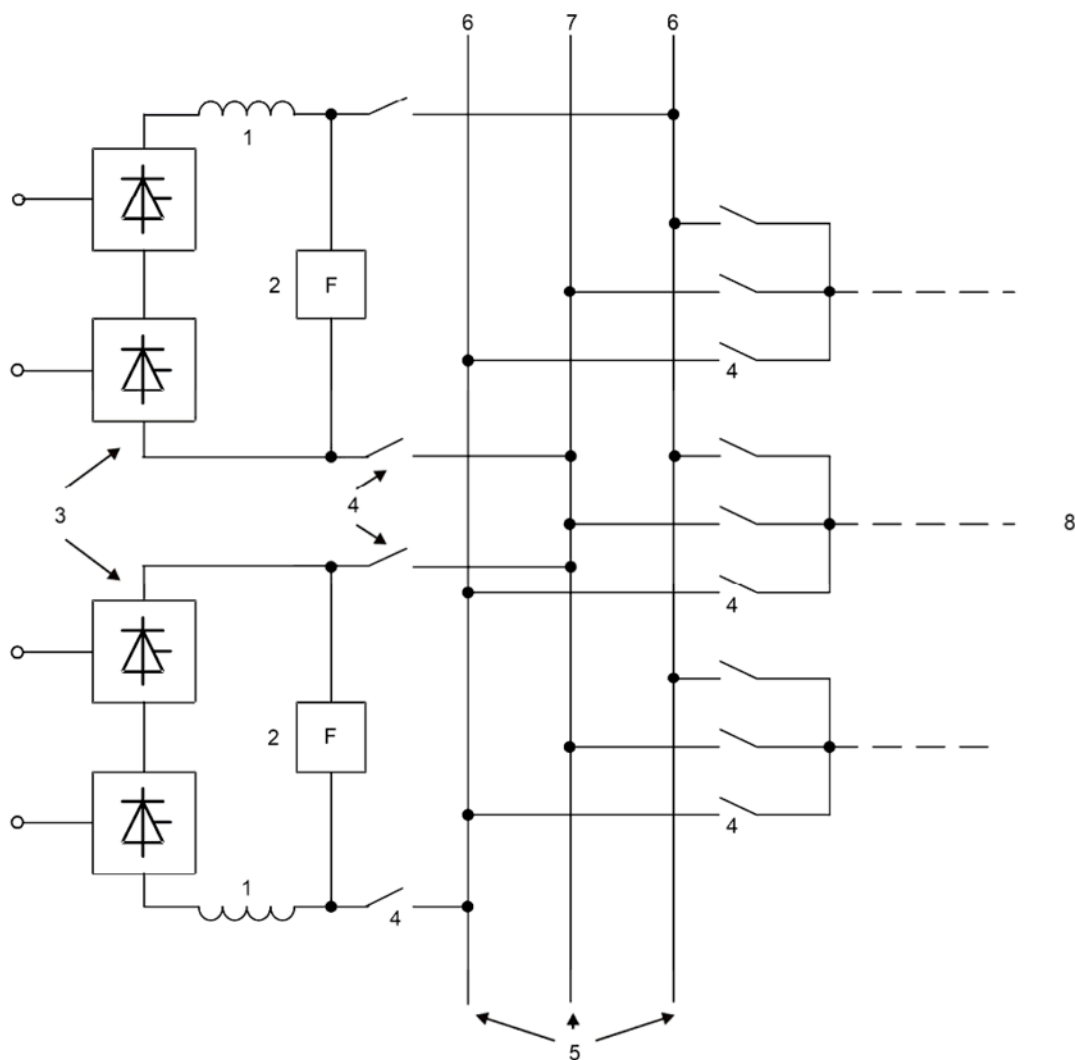
Stromrichtertransformatoren mit einer Tertiärwicklung für Blindleistungs- und Wechselstromfiltereinrichtungen können ebenso verwendet werden.

3.9 Betrachtungen zu Gleichstrom-Schalteneinrichtungen

Es gibt eine Reihe möglicher Anordnungen der Gleichstrom-Schalteneinrichtungen, die zur Erhöhung der Verfügbarkeit von HGÜ-Systemen vorgesehen werden.

Ein monopolarer metallischer Rückleitungsbetrieb eines bipolaren Systems wird in 3.5 diskutiert.

Bei bipolaren Systemen können Gleichstrom-Schalteneinrichtungen (Bild 12) so vorgesehen werden, dass sie die Verbindung jedes Leiters mit jedem Pol oder Neutralleiter der Station ermöglichen. Diese Anordnung ist für ein System mit Kabeln nützlich und wo vollisolierte Ersatzkabel zur Verfügung stehen oder wo Kabel parallel geschaltet sind. Wenn ein Pol der Station nicht in Betrieb ist, dann können die Kabel zur Verringerung von Leitungsverlusten parallel geschaltet werden. Hinsichtlich der Stromrichter sind die Gleichstromsammelschienen im Allgemeinen festgelegt mit zwei Polsammelschienen und einer Neutralleitersammelschiene. Dies würde die Parallelschaltung von zwei Stationspolen ausschließen.

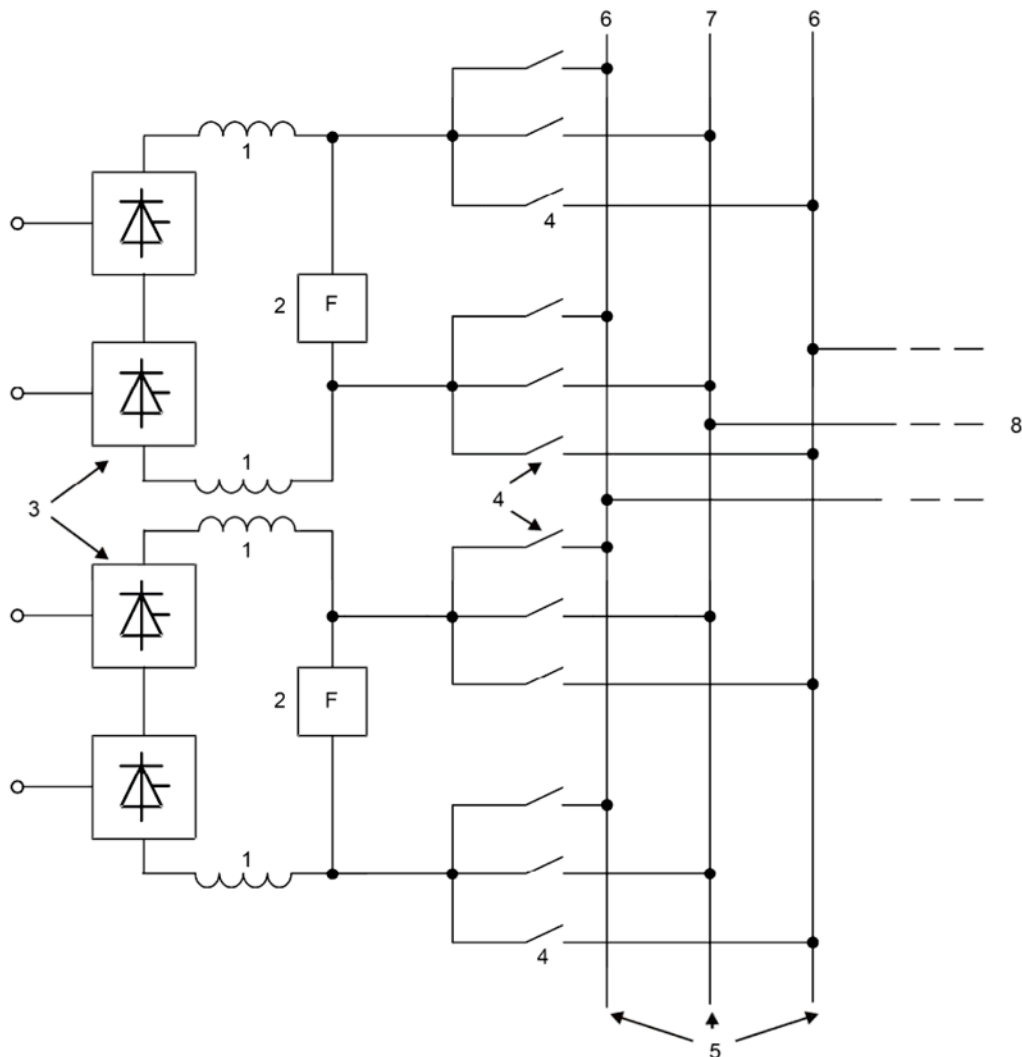


Legende

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1 Gleichstromdrossel | 5 Gleichstromsammelschiene |
| 2 Gleichstromfilter | 6 Pol |
| 3 zwei Stromrichterpole | 7 Neutralleiter |
| 4 Gleichstromschaltgeräte | 8 Gleichstromleitung/-kabel |

Bild 12 – Gleichstrom-Schalteneinrichtungen von Außenleitern

Wenn jedoch die Flexibilität benötigt wird, beide Stationspole parallel zu verbinden, dann würden Vorkehrungen für eine Polarisationsumkehr an mindestens einem Stationspol zu treffen sein und das Ende des Neutralleiters dieses Stationspols muss auch für die volle Leiterspannung isoliert sein. Eine mögliche Anordnung der Schalteinrichtungen ist in Bild 13 dargestellt.

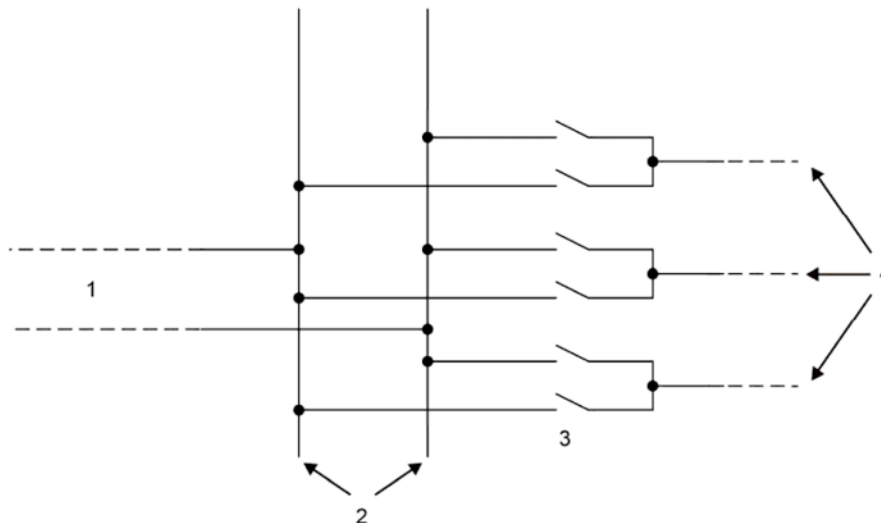


Legende

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1 Gleichstromdrossel | 5 Gleichstromsammelschiene |
| 2 Gleichstromfilter | 6 Pol |
| 3 zwei Stromrichterpole | 7 Neutralleiter |
| 4 Gleichstromschaltgeräte | 8 Gleichstromleitung/-kabel |

Bild 13 – Gleichstrom-Schalteinrichtungen von Stromrichterpolen

Im Falle eines HGÜ-Systems mit sowohl Freileitungs- als auch Kabelabschnitten kann eine Anordnung der Schalteinrichtungen an der Verbindungsstelle der Freileitungs- und Kabelabschnitte wie in Bild 14 verwendet werden.



Legende

- 1 bipolare Freileitung
- 2 Gleichstromsammelschiene
- 3 Gleichstromschaltgeräte
- 4 Gleichstromkabel (zwei Pole, ein Ersatzkabel)

Bild 14 – Gleichstrom-Schaltanlagen – Freileitung zu Kabel

Bei mehr als einer bipolaren Leitung kann die Parallelschaltung der Stromrichterpole in Betracht gezogen werden, um die Wiederherstellung der Übertragungsfähigkeit bei Nichtverfügbarkeiten der Übertragungsleitung wieder herzustellen ([Bild 15](#)).

Bei parallel geschalteten langen bipolaren Leitungen können Zwischen-Schaltanlagen, wie z. B. in [Bild 16](#) dargestellt, vorgesehen werden.

3.10 Reihenkondensatorkompensierte HGÜ-Systeme

Obwohl die herkömmliche Technik der netzgeführten Stromrichter ihre Reife erreicht hat, so haben diese Stromrichter noch zwei Unzulänglichkeiten:

- a) großer Betrag der Blindleistungsaufnahme, etwa 50 % ihrer Wirkleistung;
- b) Empfindlichkeit gegen Störung auf der Wechselstromseite, die üblicherweise als Kommutierungsfehler beobachtet werden.

Zur Überwindung dieser Unzulänglichkeiten wurden weitere Entwicklungen vorangetrieben, bei denen Reihenkondensatorkompensation angewendet wird.

In der Praxis gibt es zwei Arten der reihenkondensatorkompensierten HGÜ-Systeme:

- „Kondensatorgeführte Stromrichter (CCC)“, bei denen sich zwischen dem Stromrichtertransformator und den Ventilen in Reihe geschaltete Kondensatoren befinden.
- „Gesteuerte Reihenkondensator-Stromrichter (CSCC)“ sind ebenso vorgeschlagen. In diesem System ist die Grundstruktur des Stromrichters die gleiche wie bei der herkömmlichen Struktur, jedoch werden Kondensatoren zwischen der Wechselstromfilter-Sammelschiene und dem Wechselstromnetz eingefügt. Ferroresonante Erscheinungen bei der CSCC-Variante werden durch Regelung des Betrages der Reihenkompensation beseitigt.